ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ

РАСЧЕТ КОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ

ОСТ4 Г0.012.014

Редакция 1-69

Издание официальное

1970

УДК 621.396.6.017.71/08374/ Группа Э02

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ. РАСЧЕТ КОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ	ОСТ4 ГО.012.014 Редакция 1-69

Директивным письмом организации от 6 января 1970г. № 6/66/22-209Г стандарт внедряется как рекомендуемый с 1 июня 1970 г.

Настоящий стандарт устанавливает расчет величины контактного теплового сопротивления элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры при контактировании их в вакууме, газовой среде, при введении в зону контакта элементов теплопроводных смазок и паст, при контакте через электроизолирующие пленки и прокладки из лавсана, фторопласта, триацетатной пленки, слюды и т.д.

(а)

I. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I.I. В стандарте приняты следующие условные обозначения:

$R_к$ – контактное тепловое сопротивление (КТС) в газовой или жидкой среде, $м^2$.град/вт;

$R_{кп}$ – контактное тепловое сопротивление в пастообразной среде, $м^2$.град/вт;

$R_{к.пр}$ – контактное тепловое сопротивление соединения с промежуточной прокладкой, $м^2$.град/вт;

$R_{фк}$ – тепловое сопротивление фактического контакта в газовой или жидкой среде, $м^2$.град/вт;

$R_{фк.п}$ – тепловое сопротивление фактического контакта в пастообразной среде, $м^2$.град/вт;

$R_{ср}$ – тепловое сопротивление межконтактной газовой или жидкой среды, $м^2$.град/вт;

$R_{ср.п}$ – тепловое сопротивление межконтактной пастообразной среды, $м^2$.град/вт;

λ_i – коэффициент теплопроводности материала контактирующих элементов, вт/м.град;

$\bar{\lambda}$ – приведенный коэффициент теплопроводности элементов контактной пары, вт/м.град;

$\lambda_{ср}$ – коэффициент теплопроводности межконтактной газовой или жидкой среды, вт/м.град;

$\lambda_{срi}$ – коэффициент теплопроводности пастообразной среды, заполняющей микровпадины контактной поверхности элемента, вт/м.град;

$\bar{\lambda}_{ср}$ – приведенный коэффициент теплопроводности межконтактной пастообразной среды, вт/м.град;

$\lambda_{пр}$ – коэффициент теплопроводности межконтактной прокладки, вт/м.град;

$h_{срi}$ – высота микровыступа контактной поверхности, м;

P – контактное давление, $н/м^2$;

$\sigma_{вр}$ – предел прочности, $н/м^2$;

$t_к$ – температура в зоне контакта, ^oC;

T – абсолютная температура, ^oK;

δ – толщина межконтактной прокладки, м;

$\varepsilon_к$ – коэффициент конвекции;

$R_л$ – тепловое сопротивление лучистого теплообмена, $м^2$.град/вт.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.I. В основу построения методики расчета положен коэффициентный метод, основанный на кусочно-линейной зависимости КТС от следующих параметров: приведенной теплопроводности металлов контактирующей пары, контактного давления, твердости, микрогеометрии контактных поверхностей, теплопроводности межконтактной среды.

2.2. Связь составляющих (теплового сопротивления фактического контакта $R_{фк}$ и теплового сопротивления межконтактной среды $R_{ср}$) контактного теплового сопротивления и определяющих их параметров представлена в форме зависимости

$$R_к = R_{ко} \cdot \prod_i^n K_i ,$$

$$R_к = f(R_{фк}, R_{ср}), \quad R_{ко} = f(R_{ф.ко}, R_{ср.о}),$$

$$R_{ф.ко} = f(p_{уд.о}, \bar{\lambda}_о, \sigma_{вр.о}, H_о), \quad R_{ср} = f(\lambda_{ср.о}, H_о, t_о),$$

где

$R_{фк0}$ – базовое значение теплового сопротивления фактического контакта;

$R_{ср.0}$ – базовое значение теплового сопротивления межконтактной среды.

Зависимости коэффициента К от соответствующих параметров представлены графически на черт.I, 2, 3, 4, 5.

Базовыми выбраны следующие значения параметров:

$$P_{уд.0} = 150 \cdot 10^5 \; н/м^2 \qquad H_0 = 20 \cdot 10^{-6} м$$

$$\lambda_0 = 32 \; вт/м \cdot град; \qquad \lambda_{ср.0} = 2{,}896 \cdot 10^{-2} \; вт/м \cdot град$$

$$t_{к.0} = 50°C$$

$$R_{фк.0} = 0{,}815 \cdot 10^{-4} \; м^2 \cdot град/вт$$

$$R_{ср.0} = 4{,}375 \cdot 10^{-4} \; м^2 \cdot град/вт$$

3. ДОПУЩЕНИЯ

3.I. При разработке методики расчета величины КТС приняты следующие допущения:

а) Конвективный перенос тепла в контактной зоне отсутствует.

Это допущение справедливо вследствие того, что ограниченные размеры зазоров (δ) реального контакта шероховатых поверхностей препятствуют возникновению конвективных токов, интенсивность которых, в данном случае, характеризуется коэффициентом конвекции ($\varepsilon_к$), определяемым из выражения

$$\varepsilon_к = C\left(G_r \cdot P_r\right)^n f_1 \delta, \qquad (I)$$

где

G_r – критерий Грасгофа;

P_r – критерий Прандтля;

C и n – коэффициенты, зависящие от величины произведения ($G_r \cdot P_r$); если ($G_r \cdot P_r$) $f_1 \delta \leq 10^3$, то ε к=I, т.е. конвективным переносом тепла можно пренебречь.

Максимальное значение зазора (δ) реального контакта не может превысить 200.I0^{-6}м, температурный напор Δt обычно не превышает I00-200°С. Легко убедиться, что при реальных значениях

Δt и δ $(G_r \cdot P_r) f_1 \delta \ll 10^3$.

б) Лучистый теплообмен в контактной зоне отсутствует.

Справедливость этого допущения может быть доказана с помощью сопоставления значений теплового сопротивления лучистого теплообмена ($R_л$) и КТС. Значение КТС даже при малых контактных давлениях и грубой обработке поверхностей не превышает 7-I0.I0^{-4}м^2.град/вт, тогда как значение теплового сопротивления ($R_л$), определяемого выражением

$$R_л = \frac{T_1 - T_2}{C_0 \cdot \varepsilon_{1-2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]}, \qquad (2)$$

где

T_1, T_2 – усредненная температура соответственно I-й и 2-й контактных поверхностей, °К;

ε_{1-2} – приведенная степень черноты контактных поверхностей;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела (C_0 = 5,67)

обычно на 3,4 порядка выше, поэтому ошибка в расчете КТС не превышает I%.

в) Пятна касания реальных контактных поверхностей могут иметь любую форму, приближающуюся к форме круга или эллипса. Если считать, что пятна касания данной контактной пары имеют форму эллипса с полуосями α и β, причем $\alpha = 4a$ $\beta = a/y$,

где a - радиус круглого контактного пятна, м;

y - мера овальности эллипса,

то контактное термическое сопротивление ($R_к$) с учетом овальности контактных пятен можно выразить

$$R_к(\alpha, \beta) = R_к(a, a) f y, \qquad (3)$$

где fy - коэффициент формы. Согласно данным многочисленных экспериментов,

y - может принимать значения в пределах I-2.

При изменении y от I до 2 значение fy меняется от I до 0,9, что подтверждено экспериментами.

Таким образом, ошибка в расчете величины КТС не превышает 10%. Точность методики расчета с учетом погрешностей эксперимента и аппроксимации полученных зависимостей не хуже 30%.

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

4.I. Исходные данные для расчета величины контактного теплового сопротивления включают значения следующих параметров:

- коэффициентов теплопроводности материалов контактной пары и межконтактной среды $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_{ср}$, вт/м·град;
- предела прочности менее твердого материала контактной пары $\sigma_{вр}$ н/м^2;
- класса шероховатости (высоты микровыступов контактных поверхностей $h_{ср.1}$, $h_{ср.2}$;
- контактного давления Р, н/м^2;
- температуры в зоне контакта $t_к$, °С

5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

5.I. Расчет величины КТС при контакте в газовой среде:

а) Определяется приведенный коэффициент теплопроводности материалов контактирующей пары по формуле

$$\bar{\lambda} = \frac{2\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}; \qquad (5)$$

б) По графикам на черт.I, 2, 3 определяются коэффициенты Кр, $K_{\bar{\lambda}}, K_н, K_\sigma$ и рассчитывается тепловое сопротивление фактического контакта по формуле

$$R_{фк} = R_{фк.0} \cdot \prod_{i=1}^{4} \cdot K_1 = 0{,}815 \cdot 10^{-4} \cdot K_p \cdot K_{\bar{\lambda}} \cdot K_н \cdot K_\sigma; \qquad (6)$$

в) По графикам на черт. 4, 5 определяются коэффициенты Кн, $K_t, K_{\lambda ср}$ и рассчитывается тепловое сопротивление межконтактной среды по формуле

$$R_{ср} = R_{ср.0} \cdot \prod_{i=1}^{3} \cdot K_i = 4{,}375 \cdot 10^{-4} \cdot K_н \cdot K_t \cdot K_{\lambda ср}; \qquad (7)$$

г) Определяется величина КТС по формуле

$$R_к = \frac{R_{фк} \cdot R_{ср}}{R_{фк} + R_{ср}}. \qquad (8)$$

5.2. Расчет величины КТС при контакте в вакууме.

Для расчета величины КТС при контакте в вакууме достаточно определить значение $R_{фк}$, выполнив действия, указанные в подпунктах а) и б) п.5.I.

5.3. Расчет величины КТС при контакте в жидкой среде:

- определяется значение $R_{фк}$ согласно действиям указанным в подпунктах а) и б) п.5.I.
- рассчитывается величина теплового сопротивления межконтактной среды по формуле

$$R_{ср} = \frac{0,6(h_{ср1} + h_{ср2})}{\lambda_{ср}} ; \quad (9)$$

– рассчитывается величина КТС по формуле

$$R_к = \frac{R_{фк} \cdot R_{ср}}{R_{фк} + R_{ср}} . \quad (8)$$

5.4. Расчет величины КТС при контакте в пастообразной среде:

– определяется значение $R_{фк}$ согласно действиям, указанным в подпунктах а) и б) п.5.I.

– рассчитывается величина дополнительного сопротивления (ΔR) по формуле

$$\Delta R = \frac{0,513 \cdot 10^{-6} \sigma_{вр}}{P_{уд}} ; \quad (I0)$$

– рассчитывается тепловое сопротивление фактического контакта ($R_{фк.п}$) по формуле

$$R_{фк.п} = R_{фк} + \Delta R ; \quad (II)$$

– определяется приведенный коэффициент теплопроводности межконтактной среды по формуле

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{ср1} \cdot h_{ср1} + \lambda_{ср2} \cdot h_{ср2}}{h_{ср1} + h_{ср2}} , \quad (I2)$$

где

$$\lambda_{срi} = 0,14 + 2,9 \cdot 10^3 h_{срi} ; \quad (I3)$$

– определяется величина теплового сопротивления межконтактной среды по формуле

$$R_{ср.п} = \frac{0,6(h_{ср1} + h_{ср2})}{\bar{\lambda}_{ср}} ; \quad (I4)$$

– рассчитывается величина КТС по формуле

$$R_{к.п} = \frac{R_{фк.п} \cdot R_{ср.п}}{R_{фк.п} + R_{ср.п}} . \quad (I5)$$

5.5. Расчет величины КТС ($R_{к.пр}$) при контакте через тонкие (толщиной 6-200 мк) прокладки:

– определяются значения $R_{фк}$, $R_{ср}$ и $R_к$ согласно действиям, указанным в подпунктах а), б), в), г) п.5.I.

– рассчитывается величина КТС по формуле

$$R_{к.пр} = R_к + (0,9 - 0,4 \cdot 10^{-7} P) \frac{h_{ср1} + h_{ср2}}{80 \cdot 10^{-2}} + \frac{\delta_{пр}}{\lambda_{пр}} . \quad (I6)$$

Примечание. Формулы (I0, I3 и I6) получены путем аппроксимации экспериментальных зависимостей.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I

Задано:

В контакте находятся элементы, изготовленные из материалов: I-й – из никеля, 2-й – из сплава Д-I6. Чистота обработки контактных поверхностей элементов: I-го – ∇ 5, 2-го – ∇ 6.

Контактное давление – $P = 40.10^5$ н/м^2.

Температура в зоне контакта 50°С. Элементы контактируют в воздушной среде, межконтактная полость заполнена воздухом.

Рассчитать величину контактного теплового сопротивления.

Р а с ч е т

а) По табл.I, 2, 3, определяются:

$\sigma_{ср}$ = I8,3.I0^{7}н/м^2;

$h_{ср}$I = 20.I0^{-6}м;

$h_{ср}$2 = I0.I0^{-6}м;

$H = h_{ср1} + h_{ср2}$ = 30.I0^{-6}м;

λ I = 92,3 вт/м.град;

λ 2 = I69,8 вт/м.град;

б) По формуле (5) определяется приведенный коэффициент теплопроводности

$$\bar{\lambda} = \frac{2.92,3.I69,8}{262,I} = I40 \text{ вт/м.град};$$

в) По графикам на черт.I, 2, 3 определяются коэффициенты

$K_\sigma = 0,9$

$K_{\bar\lambda} = 0,28$

$K_H = I$

$K_p = 4$

и по формуле (6) рассчитывается сопротивление фактического контакта ($R_{фк}$)

$R_{фк} = 0,8I5.I0^{-4}.0,9.0,28.I.4 = 0,823.I0^{-4}$ м^2.град/вт;

г) По графикам на черт.4, 5 определяются коэффициенты:

$K_H = I,5$

$K_t = I$

$K_\lambda = I$

По формуле (7) рассчитывается величина теплового сопротивления межконтактной среды

$R_{ср} = 4,375.I0^{-4}.I.I.I,5 = 6,56.I0^{-4}$ м^2.град/вт;

д) По формуле (3) рассчитывается величина контактного теплового сопротивления ($R_к$)

$$R_к = \frac{0,823.6,56}{7,383}.I0^{-4} = 0,732.I0^{-4} \text{ м}^2\text{.град/вт.}$$

Пример 2

Задано:

В контакте находятся элементы, изготовленные из стали IXI8H, чистота обработки контактных поверхностей элементов $\nabla 4 - \nabla 4$,

контактное давление $-P = I00.I0^5$ н/м^2, межконтактная полость заполнена полиметилсилаксановой жидкостью ПМС-200.

Рассчитать величину КТС.

Расчет

а) По табл.I, 2, 3 определяются :

$\sigma_{вр} = 74,5.I0^7$ н/м^2;

$h_{ср1} = 40.I0^{-6}$ м;

$h_{ср2} = 40.I0^{-6}$ м;

$H = h_{ср1} + h_{ср2} = 80.I0^{-6}$ м;

$\lambda_{1,2} = I5,7$ вт/м.град;

$\lambda_{ср} = 0,I2$ вт/м.град;

б) По графикам на черт.I, 2, 3 определяются коэффициенты:

$K_p = I,35$

$K_{\bar\lambda} = 2,87$

$K_H = I$

$K_\sigma = 3,2$

и по формуле (6) рассчитывается сопротивление фактического контакта ($R_{фк}$)

$R_{фк} = 0,8I5.I0^{-4}.I,35.2,87.I.3,2 = I0,I.I0^{-4}$ м^2.град/вт;

в) По формуле (9) рассчитывается величина теплового сопротивления межконтактной среды ($R_{ср}$)

$$R_{ср} = \frac{0,6(40+40).I0^{-6}}{0,I2} = 4.I0^{-4} \text{ м}^2\text{.град/вт};$$

г) По формуле (8) рассчитывается величина КТС ($R_к$)

$$R_к = \frac{I0,I.4}{I4,I}.I0^{-4} = 2,87.I0^{-4} \text{ м}^2\text{.град/вт.}$$

Зак.181

Пример 3

Задано:

В контакте находятся элементы, изготовленные из сплава Д-I6, чистота обработки контактных поверхностей - ∇ 5 - ∇6, контактное давление - $P = 40.10^5$ н/м^2, межконтактная полость заполнена пастой КПТ-8.

Рассчитать величину КТС.

Расчет

а) По табл. I, 2, 3 определяются:

$$\sigma_{вр} = 18,3.10^7 \text{ н/м}^2;$$
$$h_{ср_1} = 20.10^{-6} \text{ м};$$
$$h_{ср_2} = 10.10^{-6} \text{ м};$$
$$H = h_{ср_1} + h_{ср_2} = 30.10^{-6} \text{ м};$$
$$\lambda_{1,2} = 169,8 \text{ вт/м.град};$$

б) По графикам на черт.I, 2, 3 определяются коэффициенты:

$$K_{\bar{\lambda}} = 0,19$$
$$K_{\sigma} = 0,9$$
$$K_{н} = 1$$
$$K_{р} = 4$$

и по формуле (6) рассчитывается сопротивление фактического контакта ($R_{фк}$)

$$R_{фк} = 0,815.10^{-4}.0,9.0,19.1.4 = 0,557.10^{-4} \text{ м}^2.\text{град/вт};$$

в) По формуле (I0) рассчитывается величина дополнительного сопротивления фактического контакта (ΔR)

$$\Delta R = \frac{0,513.10^{-6}.18,3.10^7}{40.10^5} = 0,23.10^{-4} \text{ м}^2.\text{град/вт};$$

г) По формуле (II) рассчитывается значение $R_{фк.п}$

$$R_{фк.п} = (0,557+0,23).10^{-4} = 0,787.10^{-4} \text{ м}^2\text{град/вт};$$

д) По формулам (I2, I3) рассчитывается приведенный коэффициент теплопроводности межконтактной среды ($\lambda_{ср}$):

$$\lambda_{ср_1} = 0,14+2,9.10^3.20.10^{-6} = 0,196 \text{ вт/м.град};$$
$$\lambda_{ср_2} = 0,14+2,9.10^3.10.10^{-6} = 0,169 \text{ вт/м.град};$$
$$\lambda_{ср} = \frac{0,196.20+0,169.10}{30} = 0,187 \text{ вт/м.град}$$

и по формуле (I4) рассчитывается величина теплового сопротивления среды ($R_{ср.п}$)

$$R_{ср.п} = \frac{0,6\ (10+20).10^{-6}}{0,187} = 0,96.10^{-4} \text{ м}^2.\text{град/вт};$$

е) По формуле (I5) рассчитывается величина КТС ($R_{к.п}$)

$$R_{к.п} = \frac{0,787.0,96}{1,747}\ 10^{-4} = 0,43.10^{-4} \text{ м}^2.\text{град/вт}.$$

Пример 4

Задано:

В контакте находятся элементы, изготовленные из материалов: I-й элемент - из никеля, 2-й - из сплава Д-I6. Чистота обработки контактных поверхностей элементов: I-го - ∇5, 2-го - ∇6. Контактное давление - $P = 40.10^5$ н/м^2. Температура в зоне контакта - 50°С.

Элементы контактируют в воздушной среде через прокладку фторопласта $\delta = 30.10^{-6}$ м.

Рассчитать величину контактного теплового сопротивления.

Р а с ч е т

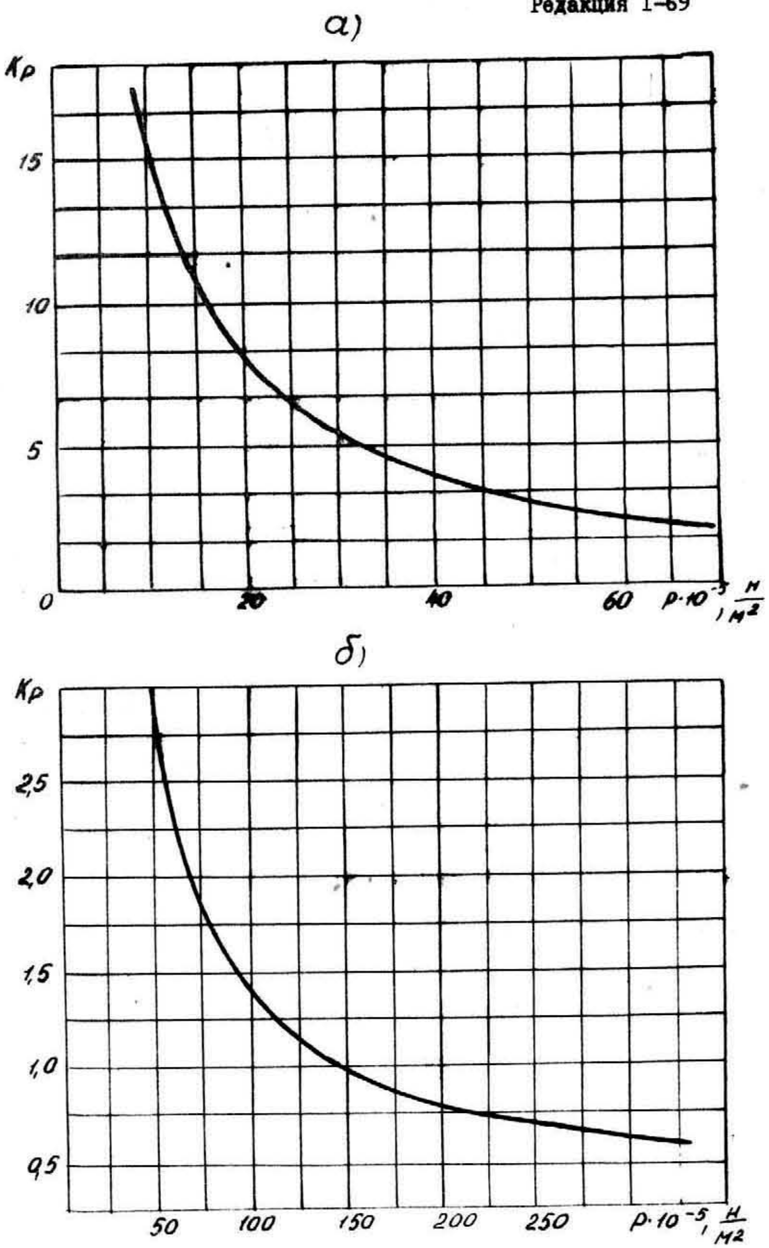
а) Рассчитывается величина контактного теплового сопротивления основной контактной пары ($R_к$) согласно действиям, указанным в пунктах а), б), в), г), д) примера I.

б) Определяется величина контактного теплового сопротивления с прокладкой ($R_{к\,пр}$) по формуле (I6)

$$R_{к.пр} = 0{,}732.10^{-4} + (0{,}9 - 0{,}4.10^{-7}.40.10^{5})\,\frac{30}{80-10} - 2 + \frac{30.10^{-6}}{0{,}26} =$$

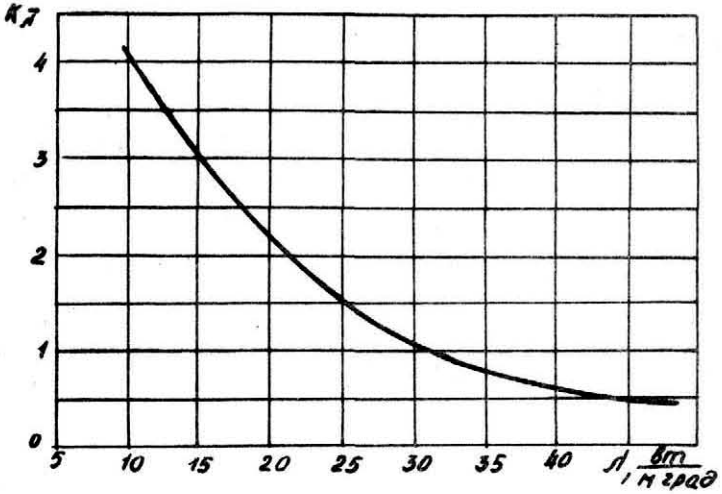
$$= 0{,}732.10^{-4} + 0{,}277.10^{-4} + 1{,}15.10^{-4} = 2{,}159.10^{-4}\ м^2град/вт.$$

Зак.181.

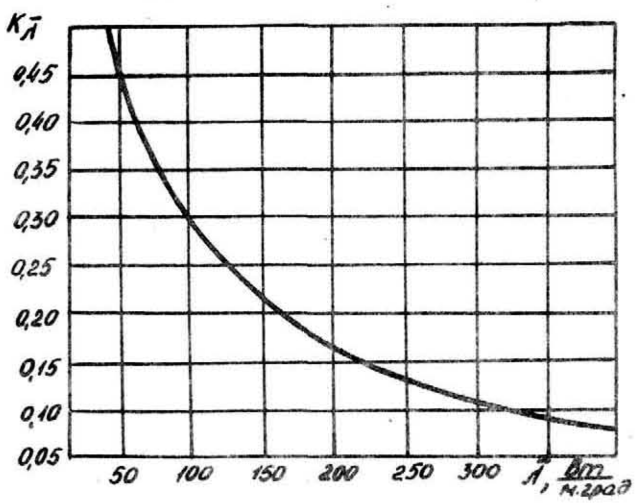


Черт. I

а)

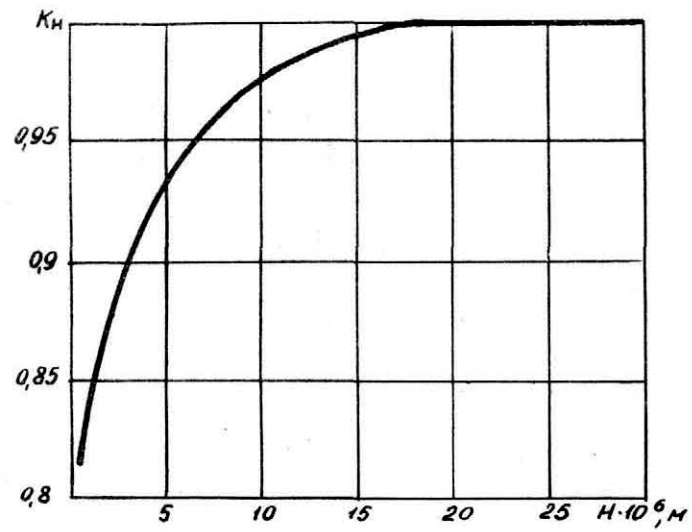


б)

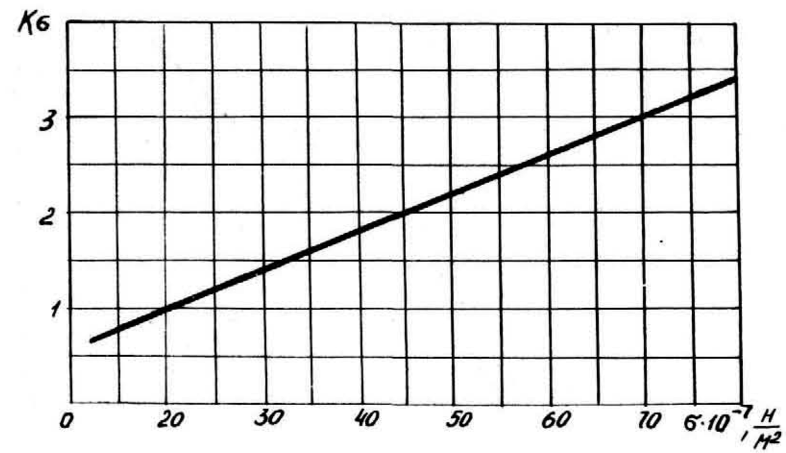


Черт. 2

а)

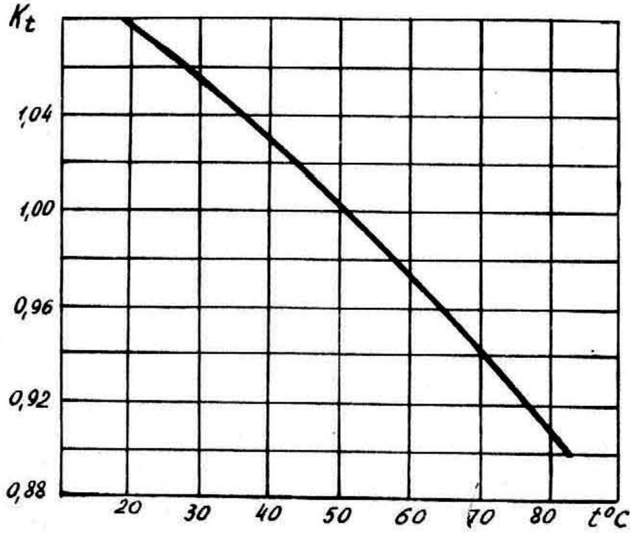


б)

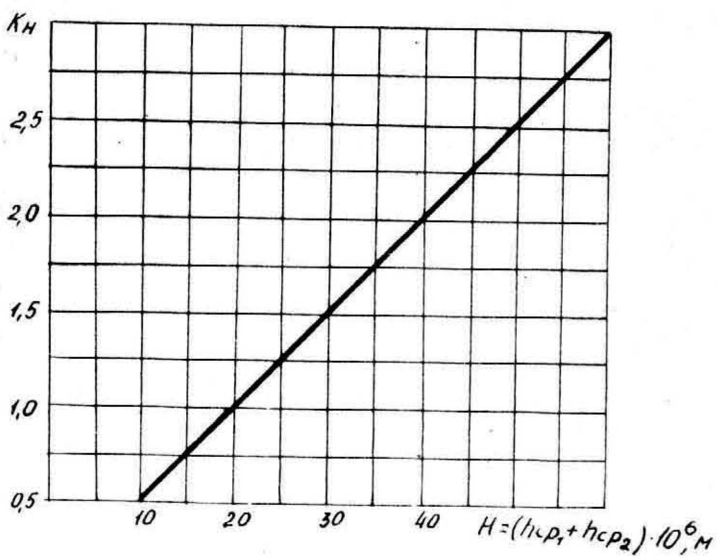


Черт. 3

а)

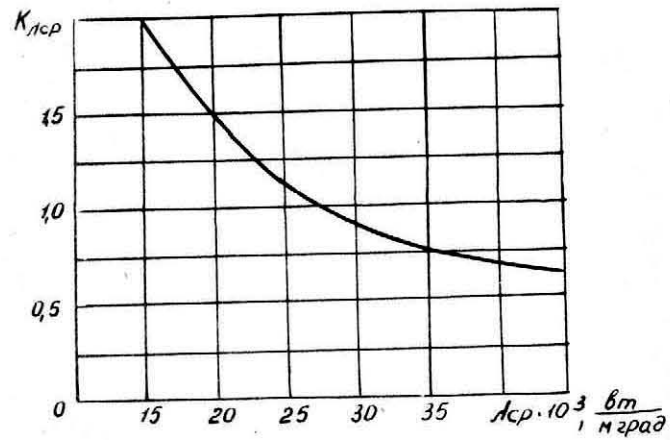


б)

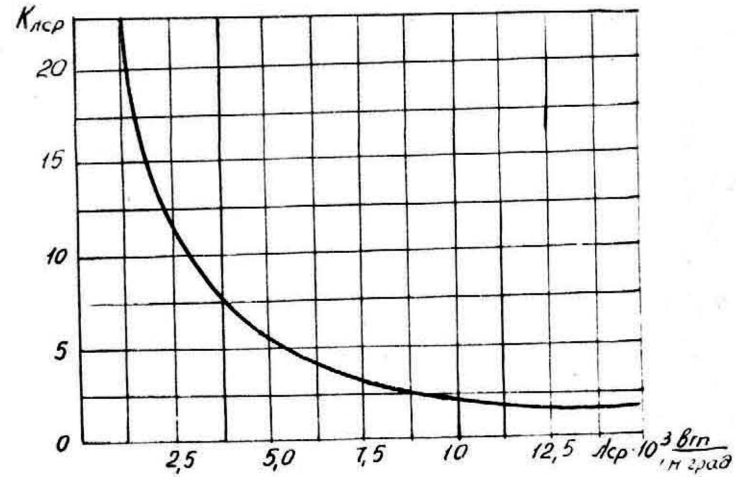


Черт.4

а)



б)



Черт.5

Таблица I

Марка материала	Предел прочности при растяжении (сжатии) $\sigma_{вр}$, н/м^2	Коэффициент теплопроводности λ, вт/м.град
Сплав АВ	32,4.I0^7	I7I,0
Сплав АК4	43,2.I0^7	I80,3
Сплав АМЦ, АМг	2I,5.I0^7	I59,3
Сплав Д-I6 м, ДIм	I8,3.I0^7	I69,8
Сплав МАI, В95м	I7,I.I0^7	I5I,2
Сплав МА2	23,5.I0^7	I04,7
Сплав МА3	24,0.I0^7	96,5
Медь	39,2.I0^7	394,5
Латунь, В95т	49,0.I0^7	I05,8
Никель	4I,0.I0^7	92,3
Сталь-I5	26,4.I0^7-48,0.I0^7	50,3-52,3
Сталь-35	54,9.I0^7-64,6.I0^7	40,0-47,9
Сталь-45	62,7.I0^7-67,5.I0^7	32,0-45,9
Сталь-IXI8H	74,5.I0^7	I5,7
Лавсан	-	0,I58
Слюда	-	0,42-0,66
Фторопласт 3	-	0,55
Фторопласт 4	-	0,24

Таблица 2

Класс чистоты обработки	3	4	5	6	7	8	9	I0
Высота микро-выступов, мк	80	40	20	I0	5	2,5	I,25	0,5

зак.181

Таблица 3

Газы и жидкости	Температура, ^{o}C	Коэффициент теплопроводности λ, вт/м.град
Водород	0	0,I7
-"-	20	0,I9
-"-	I00	0,22
Гелий	0	0,I4
-"-	I00	0,I7
ПМС-200	-	0,I2
ПМС-300	-	0,I46
ПМС-500	-	0,I6

СОДЕРЖАНИЕ